

INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

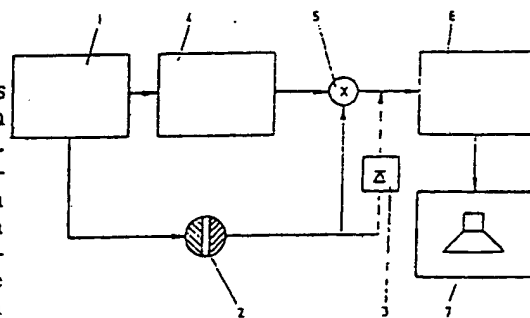
(51) Internationale Patentklassifikation ³ : G01B 17/02; G01S 15/34	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 82/ 03455 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 14. Oktober 1982 (14.10.82)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP82/00069 (22) Internationales Anmeldedatum: 29. März 1982 (29.03.82) (31) Prioritätsaktenzeichen: P 31 13 025.9 (32) Prioritätsdatum: 1. April 1981 (01.04.81) (33) Prioritätsland: DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): BATTELLE-INSTITUT e.V. [DE/DE]; Am Römerhof 35, D-6000 Frankfurt/Main 90 (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BEUTER, Karl [DE/DE]; Oberlindau 98, D-6000 Frankfurt/Main (DE). (74) Anwalt: RUPPRECHT, Klaus; Battelle-Institut e.V., Am Römerhof 35, D-6000 Frankfurt/90 (DE).	(81) Bestimmungsstaaten: BR, JP, US. Veröffentlicht Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.	

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR CONTROLLING AND MEASURING THE THICKNESS OF LAYERS OF A MATERIAL

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR DICKENKONTROLLE BZW. -MESSUNG VON MATERIALSCHICHTEN

(57) Abstract

In the method for controlling and measuring the thickness of layers of a material, a frequency modulated, fixed ultrasonic signal is used which travels periodically a frequency band, and the resulting signal is processed. The width of the frequency band is selected so as to be a multiple of the interferential distance. The maxima or minima which occur periodically in the spectrum of the signal received are used. By using a fixed modulation ratio of the transmitted signal, a set relationship between the repetition frequency of the maxima or minima in the spectrum and the thickness of the layer to be tested is achieved. Thus, the repetition frequency increases when the thickness of the layer increases. Alternatively, the harmonic ratio corresponding to the thickness of the layer is used. The harmonics appear when the selected frequency band is sufficiently narrow to embrace only a portion of the interferential distance. The repetition frequency of the modulation is determined with respect to the desired measuring range.



(57) Zusammenfassung

Bei einem Verfahren zur Dickenkontrolle bzw. -messung von Schichten, bei dem man ein anhaltendes, frequenz-moduliertes Ultraschallsignal einschalt, das periodisch ein Frequenzband überstreicht, und das resultierende Signal auswertet, wird das Frequenzband so breit gewählt, dass ein mehrfaches des Interferenzabstandes umfasst wird. Die im Frequenzspektrum des Empfangssignals periodisch auftretenden spektralen Maxima oder Minima werden ausgewertet. Bei festgelegter Modulationsrate des Sendesignals ergibt sich eine eindeutige Zuordnung zwischen der Wiederholfrequenz der Maxima oder Minima im Spektrum und der Dicke der zu prüfenden Schicht. Dabei nimmt die Wiederholfrequenz mit wachsender Schichtdicke zu. Nach einem alternativen Vorschlag wird ein der Schichtdicke entsprechendes Oberwellenverhältnis ausgewertet. Die Oberwellen entstehen dadurch, dass das Frequenzband schmal gewählt wird, so dass nur ein Teilbereich des Interferenzabstandes umfasst wird. Die Wiederholfrequenz der Modulation wird in Abhängigkeit von dem gewünschten Messbereich festgelegt.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

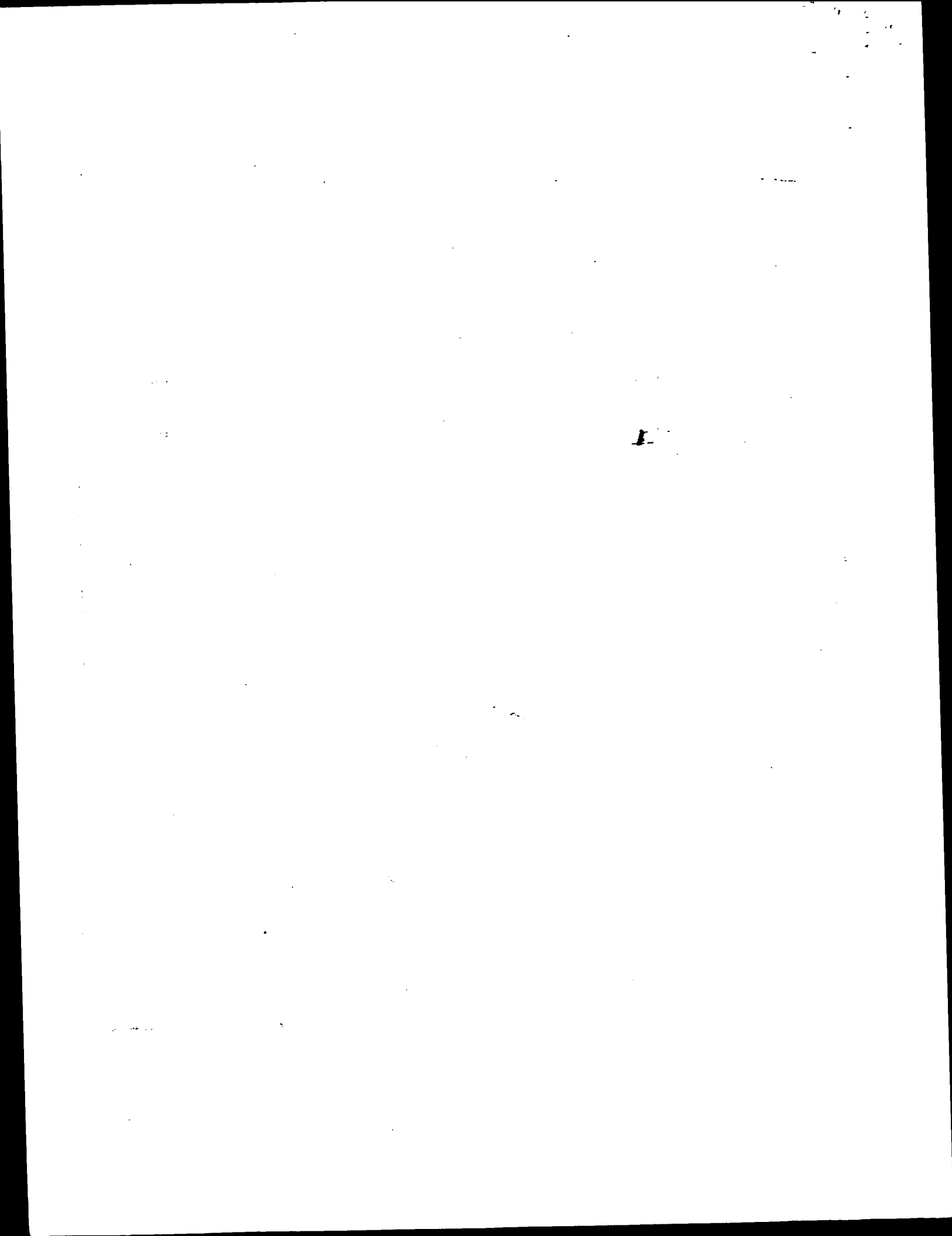
Code, die zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT	Österreich	KP	Demokratische Volksrepublik Korea
AU	Australien	LI	Liechtenstein
BE	Belgien	LK	Sri Lanka
BR	Brasilien	LU	Luxemburg
CF	Zentrale Afrikanische Republik	MC	Monaco
CG	Kongo	MG	Madagaskar
CH	Schweiz	MW	Malawi
CM	Kamerun	NL	Niederlande
DE	Deutschland, Bundesrepublik	NO	Norwegen
DK	Dänemark	RO	Rumania
FI	Finnland	SE	Schweden
FR	Frankreich	SN	Senegal
GA	Gabun	SU	Soviet Union
GB	Vereinigtes Königreich	TD	Tschad
HU	Ungarn	TG	Togo
JP	Japan	US	Vereinigte Staaten von Amerika

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen PCT/EP 82/00069

I. KLASSEFIZIKATION DES ANMELDUNGSGEGENSTANDS (bei mehreren Klassifikationssymbolen sind alle anzugeben) ³ Nach der internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
Int.Kl. ³ : G 01 B 17/02; G 01 S 15/34		
II. RECHERCHIERTE SACHGEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff ⁴		
Klassifikationssystem	Klassifikationssymbole	
Int.Kl. ³	G 01 B 17/00; G 01 S 15/34	
Recherchierte nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Sachgebiete fallen ⁵		
III. EINSCHLAGIGE VERÖFFENTLICHUNGEN⁶		
Art ⁷	Kennzeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der Maßgeblichen Teile ⁷	Betr. Anspruch Nr. ⁸
A	DE, C, 1190845 (NATIONAL RESEARCH DEVELOPMENT CORPORATION) 21. September 1967, siehe Ansprüche 1,3,4	6,8
A	US, A, 3140461 (C.M. MCKINLEY) 7. Juli 1964, siehe Ansprüche 1 bis 4	1,3
A	US, A, 3148536 (R.V. HARRIS) 15. September 1964, siehe Ansprüche 1 bis 6	
A	Elektroniker, Band 25, Nr. 5, 1976 (München, DE) O. Müller "Der Hochfrequenz-Spektrumanalysator als Messgerät in der Ultraschallresonanztechnik", siehe Seiten EL20 bis EL24	
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>¹ Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen¹⁰:</p> <p>"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist</p> <p>"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)</p> <p>"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht</p> <p>"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist</p> <p>"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden</p> <p>"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist</p> <p>"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</p> </div> </div>		
IV. BESCHEINIGUNG		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche ¹	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts ²	
5. August 1982	17. August 1982	
Internationale Recherchenbehörde ¹	Unterschrift des bevollmächtigten Bediensteten ¹	
Europäisches Patentamt	G.L.M. Kruidenberg	



5

- 1 -

10

=====

Verfahren und Vorrichtung zur Dickenkontrolle bzw.

-messung von Materialschichten

=====

15

Die Erfindung betrifft Verfahren und Vorrichtungen zur Dickenkontrolle bzw. -messung von einseitig oder nicht von außen zugänglichen Materialschichten, wobei ein anhalten-
des, frequenzmoduliertes Ultraschallsignal eingeschallt
wird, das periodisch ein Frequenzband überstreicht und das
durch Interferenz resultierende Signal bezüglich der Am-
plitude ausgewertet wird.

25

Die Schichtdickenmessung ist zur Kontrolle von Belagstärken, wie Schutzschichten, Ablagerungen, von Korrosion oder Rohrstärken, für Tiefenbestimmungen und viele andere Anwendungen erforderlich. Hierfür sind optische, elektri-
sche und magnetische Methoden bekannt, die auf bestimmte
Materialien begrenzt sind und häufig für unzugängliche
oberflächenferne Schichten nicht eingesetzt werden können.

30

35

Die berührungslose und zerstörungsfreie Prüfung mit Ultraschall erlaubt es, auch von außen unzugängliche Be-
reiche eines Werkstückes zu untersuchen. Ultraschall-
dickenmessungen nach dem Laufzeitverfahren mit der

Impuls-Echo-Technik können mit handelsüblichen Geräten durchgeführt werden. Wenn die Schichtdicken aber so gering sind, daß sich die Echos von Schichtober- und -unterseite zu einem zeitlich nicht auflösbaren resultierenden Signal überlagern, versagt das herkömmliche Laufzeitverfahren. Für diesen Fall wurden schon Frequenzanalyseverfahren eingesetzt, bei denen aus dem sogenannten Cepstrum des resultierenden Signals die Schichtdicke bestimmt wurde. Wegen der nicht beliebig kleinen Impulsdauer ist die Laufzeitmethode nur eingeschränkt für relativ dicke Schichten anwendbar und das Cepstrum-Verfahren ist rechenintensiv und damit aufwendig in der Benutzung.

Ferner sind Ultraschalldickenmeßgeräte bekannt, die mit einem Schallgeber und einem HF-Generator ausgerüstet sind, dessen Frequenz kontinuierlich in bestimmten Bereichen geändert wird. Dabei werden die Frequenzen, bei denen Resonanz auftritt, gemessen und daraus die Schichtdicke bestimmt. Durch Modulation der Schwingungen wird erreicht, daß bei Resonanz im Kopfhörer ein Ton wahrnehmbar ist. Die zugehörige Frequenz bzw. die Schichtdicke kann dann direkt optisch abgelesen werden. Bei diesen Verfahren hat der bei Resonanz auftretende Ton allein zur Schichtdickenkontrolle keine Aussagekraft. Ferner wenn die Schichtdicke auf größeren Flächen oder Strecken geprüft werden muß, kann der Prüfer bei den bekannten Verfahren nur einen Eindruck vom Ergebnis bekommen, wenn er laufend den Oszillosgraphenschirm, sonstige Anzeigeeinstrumente oder einen Schrieb beobachtet. Für schnelle Routineinspektionen sind diese Verfahren zu aufwendig.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine laufende Überwachung und Kontrolle auch sehr dünner Schichten bis herunter zu einigen

- 3 -

Mikrometern ohne manuelle Nachjustierung der Prüfgerä-
te zu ermöglichen. Dabei sollte für den Prüfer die
Dickenänderung insbesondere verdeckter Schichten direkt
anhand von Periodizitäten im Frequenzspektrum oder
als Höreindruck vermittelt werden. Ferner sollte das
Verfahren auch eine Aussage über die Oberflächenstruktur,
z.B. Rauigkeit der Schichten erlauben.

Es hat sich nun gezeigt, daß sich diese Aufgabe mit
einem Verfahren der eingangs genannten Art lösen läßt,
wenn das Frequenzband breit gewählt wird, so daß ein
Mehrfaches des Interferenzabstands umfaßt wird und wenn
das durch multiplikatives Mischen mit dem eingeschallten
Signal entstehende Signal einer Frequenzanalyse unter-
worfen wird, wobei eine bestimmte Modulationsrate in
Abhängigkeit von dem gewünschten Meßbereich festgelegt
wird. Eine alternative Lösung der gestellten Aufgabe
besteht darin, wenn ein der Schichtdicke entsprechendes
Oberwellenverhältnis ausgewertet wird, wobei die Oberwellen
dadurch entstehen, daß das Frequenzband schmal gewählt
wird, so daß nur ein Teilbereich des Interferenzabstands
bzw. der Interferenzmuster umfaßt wird und wenn die
Wiederholfrequenz der Modulation in Abhängigkeit von
dem gewünschten Meßbereich festgelegt wird. Gemäß einer
bevorzugten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens
wird zur Erzeugung einer Referenztiefe das eingeschallte
Signal zeitlich verzögert und mit dem resultierenden Signal
multiplikativ gemischt. Nach diesem Verfahren läßt
sich insbesondere die Oberflächenbeschaffenheit von
Schichten feststellen, die von außen nicht zugänglich
sind. Vorteilhafte Ausführungsformen und Vorrichtungen
zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens sind
in den Patentansprüchen 2, 4 und 6 bis 12 beschrieben.

- 4 -

Bei dem ersten Verfahren werden die im Frequenzspektrum des Empfangssignals periodisch auftretenden spektralen Maxima oder Minima ausgewertet. Neben der direkten Auswertung der Maxima oder Minima durch einen Beobachter am Bildschirm oder einen Rechner hat sich die Umsetzung der über der Frequenz und damit infolge der linearen Frequenzmodulation auch über der Zeit periodisch wiederkehrenden Maxima oder Minima in ein Tonfrequenzsignal als zweckmäßig erwiesen. Bei festgelegter Modulationsrate des Sendesignals ergibt sich nämlich eine eindeutige und feste Zuordnung zwischen der Wiederhol-
frequenz der Maxima oder Minima im Spektrum und der Dicke der zu prüfenden Schicht. Dabei nimmt die Wiederholfrequenz mit wachsender Schichtdicke zu.

Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren werden als die durch Teilreflexion an den Grenzschichten erzeugten, periodisch wiederkehrenden Interferenzeffekte beobachtet und mit einer elektrischen Einrichtung oder gegebenenfalls mit dem Gehör, die in der Amplitudenmodulation enthaltene Dickeninformation ausgewertet. Das Verfahren basiert auf den folgenden theoretischen Überlegungen.

Das auf die zu kontrollierende Schicht eingeschallte Signal und die an den Schichtgrenzen reflektierenden Signale interferieren miteinander. Die Laufzeitdifferenz τ beim Schicht abstand d beträgt

$$\tau = 2 d / c,$$

mit c als Schallgeschwindigkeit. Verändert man die Frequenz F des eingestrahltten Signals, so erhält man ein charakteristisches Interferenzmuster, bei dem periodisch auftretende Pegelveränderungen erscheinen, deren Frequenz-

- 5 -

abstand bzw. Interferenzabstand Q

$$Q = 1/\tau$$

5 beträgt. Verwendet man ein linear frequenzmoduliertes Signal, einen sogenannten Sweep mit der Modulationsrate m

$$m = B/T,$$

10

wobei B Sweephöhe bzw. Wobbelhub und T Wobbelperiode bedeuten, so beträgt die Zahl f der pro Sekunde überstrichenen Interferenzzyklen

15

$$f = m\tau.$$

Durch geeignete Wahl der Modulationsrate kann man f in den Hörfrequenzbereich legen. Die Umsetzung des Abstandes in die zeitliche Wiederholfrequenz des Interferenzmusters wird als Abstands- oder Tiefencodierung bezeichnet. Die Empfindlichkeit b der Tiefencodierung beträgt

20

$$b = \Delta f / \Delta d = 2 m/c.$$

25

Bei hoher Empfindlichkeit wird bereits mit geringen Schichtdickenänderungen ein vorgegebenes Frequenzintervall, z.B. der Meßbereich eines Analysators überstrichen. Dadurch wäre ohne weitere Maßnahmen der Arbeitsbereich des Verfahrens auf geringe Schichtdicken beschränkt. Kommt es aber nur darauf an, die Abstandsänderungen einer Schichtgrenze festzustellen, so kann man nach der folgenden Methode eine frei wählbare Arbeitstiefe d_0 einstellen. Hierzu verschiebt man das Referenzsignal mit einer Verzögerungseinheit zeitlich um den Betrag τ_0 . Damit wird die Arbeitstiefe

30

35

$$d_0 = c \tau_0 / 2$$

- 6 -

durch die Frequenz von 0 Hz codiert.

Für eine Dickenmessung von Material, in dem die Schallgeschwindigkeit $c = 3000$ m/s beträgt, muß man bei einer Arbeitstiefe von $d_0 = 6$ mm und einer Empfindlichkeit von $b = 500$ Hz/mm die Modulationsrate

$$m = cb/2 = 750 \cdot 10^6 \text{ s}^{-2}$$

bei einer Verzögerung von

$$\tau_0 = 2 d_0/c = 4 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

einstellen. Bei einer Begrenzung des Meßbereichs z.B. durch ein Tiefpaßfilter auf 5 kHz, liegt dann der Tiefenmeßbereich zwischen 6 mm und 16 mm. Die erforderliche Sweeprate kann z.B. durch ein periodisch linear von 5 MHz nach 2 MHz abfallendes Signal mit einer Sweepperiode von 4 ms realisiert werden. Der Linienabstand im Frequenzspektrum beträgt dann 250 Hz.

Infolge der Material- und Temperaturunabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit kann die erfindungsgemäße Vorrichtung für Absolutmessungen kalibriert werden. Die Schichtdicke

$$d = fc/2 \text{ m}$$

erhält man durch Multiplikation der Wiederholfrequenz des Interferenzmusters mit dem Eichfaktor $c/2$ m. Die beiden Faktoren werden durch Spannungswerte dargestellt und in einer geeigneten Einheit multipliziert. Der Eichfaktor wird mit einer Skala eingegeben oder in einer Referenzmessung eingestellt. Dazu wird die Anzeige beim Messen einer bekannten Schichtdicke des betreffenden Materials durch Verstellen einer Kalibriereinheit auf den richtigen Wert einjustiert.

- 7 -

Bei sehr dünnen Schichten kann der Interferenzabstand so groß werden; daß die Wandlerbandbreite für das Überstreichen mehrerer Interferenzperioden nicht mehr ausreicht. Bei 300 m/s Schallgeschwindigkeit beträgt der Interferenzabstand einer 0,1 mm dicken Schicht z.B. 15 MHz. Dieses Frequenzband kann mit technisch üblichen Wandlern nicht mehrfach überstrichen werden. In einem solchen Fall wird erfindungsgemäß mit dem Sendesignal nur ein Teilbereich des Interferenzabstandes bzw. -musters periodisch überstrichen. Die Wiederholrate wird in den unteren Teil des Analysatormeßbereichs, z.B. auf 1 kHz gelegt. Die interferenzbedingte Amplitudenmodulation stellt dann im kHz-Rhythmus aneinandergereihte Segmente des Interferenzmusters für das zu messende Objekt dar. Das Frequenzspektrum der Amplitudenmodulation enthält die Grundfrequenz, in dem gewählten Beispiel 1 kHz und Harmonische. Liegt die Mittenfrequenz des Prüfsignals an einem definierten Punkt der Interferenzkurve, z.B. im Maximum, so hängt das Verhältnis der Oberwellenamplituden zur Grundfrequenzamplitude nur von der Bandbreite und vom Interferenzabstand, also der Dicke der Schicht ab. Aus dem Oberwellenverhältnis und der eingestellten Bandbreite kann man also eindeutig auf die Schichtdicke schließen. Das Oberwellenverhältnis kann sowohl mit dem Gehör als auch gerätetechnisch, z.B. durch Mitlauffilter oder Fourieranalysatoren, bestimmt werden. Die verwendete Bandbreite ist aus der Einstellung des Sweepgenerators bekannt. Zur Bestimmung der Schichtdicke nach dieser Oberwellenmethode wird zuerst schmalbandig eingeschallt und ein Interferenzmaximum aufgesucht. Dann wird die Bandbreite so lange erhöht, bis ein bestimmtes Oberwellenverhältnis erreicht ist. Aus der Bandbreite ist die Schichtdicke ableitbar. Für Absolutmessungen wird der Kehrwert dieser Bandbreite mit einem konstanten Faktor multipliziert, der, wie bereits oben dargelegt, mit einer Eichmessung eingestellt werden kann.



- 8 -

Bei gegebener Schichtdicke und fest eingestellter Bandbreite ist also ein bestimmtes Oberwellenverhältnis vorhanden. Es ändert sich bei Veränderungen der Schichtdicke und wird, wenn der Meßbereich im Hörfrequenzbereich liegt, als Klangveränderung wahrgenommen. Für Routineinspektionen ist es daher sinnvoll, einen bestimmten Klang einzustellen und die Klangveränderung zu überwachen.

Die nach der vorliegenden Erfindung durchgeführten Schichtdickenmessungen erlauben die dynamische Messung und Kontrolle von Schichtdicken mit Frequenzanalysatoren oder dem Gehör und erleichtern damit den Prüfvorgang. Veränderungen der Schichtdicke können so besonders leicht erkannt werden. Die Anzeige und Dokumentation der Prüfergebnisse sind ebenfalls gesichert. Im Gegensatz zur Laufzeitmethode ist hier die Überlagerung von Teilechos Bestandteil des Verfahrens. Es ermöglicht daher auch die Messung sehr geringer Schichtdicken, wobei die allgemeinen Vorzüge der Ultraschallprüfung gewahrt bleiben.

Weitere Einzelheiten, Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten der Erfindung gehen aus der folgenden Beschreibung anhand der beigefügten Zeichnungen hervor.

Es zeigen in schematischer Vereinfachung

Figur 1 Diagramm zur Wahl eines zweckmäßigen Frequenzbandes bei der erfindungsgemäßen Oberwellenmethode;

Figur 2 Blockschaltbild einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einer Verzögerungseinheit;

- 9 -

Figur 3 Blockschaltbild einer weiteren Ausführungsform, in der eine Kalibriereinheit vorgesehen ist und

5 Figur 4 Blockschaltbild einer Ausführungsform und prinzipielle Anordnung eines Regelkreises zur Dickenbestimmung nach dem Oberwellenverhältnis.

10 Erfindungsgemäß wird also eine Ultraschallprüfeinrichtung mit periodisch frequenzmoduliertem Dauersignal verwendet und durch Demodulation des Überlagerungssignals die Schichtdicke in ein in der Zeit periodisch wiederkehrendes Muster umgesetzt. Bei zunehmender Schichtdicke wird die Periode des Musters kürzer, bei abnehmender Schichtdicke
15 länger. Bei dünnen Schichten, deren Frequenzcode in der Nähe oder unterhalb der Wiederholungsfrequenz des Sendesignals liegt, fällt die Wiederholungsfrequenz einschließlich Oberwellen in den Analysebereich, wobei der Oberwellen-
20 gehalt mit der Schichtdicke wächst.

25 In Figur 1 wird die Mittenfrequenz des frequenzmodulierten Sendesignals auf ein Interferenzmaximum oder -minimum gelegt und die Bandbreite B so breit eingestellt, daß Oberwellen in das Analysefrequenzband fallen. Q bezeichnet, den Frequenzabstand der Interferenzmaxima.

30 Gemäß Figur 2 wird das von einem Sweepgenerator 1 mit einstellbarer Bandbreite und Modulationsrate erzeugte Signal auf den Prüfkopf 2 gegeben. Das am Empfangswandler entstehende Signal wird entweder bei 3 direkt gleichgerichtet oder mit dem in einer Verzögerungseinheit 4 um eine vorwählbare Zeit verschobene Sendesignal multipliziert 5 und nach Tiefpaßfilterung 6 auf einen Audiomonitor 7 geleitet.

35

- 10 -

Bei der in Figur 3 gezeigten Ausführungsform werden ein Sweepgenerator 1, ein Verstärker 8, ein Prüfkopf 2, ein Amplitudendemodulator 9 und ein Audiomonitor 7 verwendet. Zusätzlich mit einem Frequenzmeßgerät 10, einer Kalibriereinrichtung 11 mit Multiplizierer 12 wird eine Dickenanzeige 13 in üblicher Form, wie z.B. Skala, Ausdruck oder Schreiberstreifen, gesteuert. Anstelle von Amplitudendemodulator 9 kann auch wie in Figur 2 ein Gleichrichter oder Multiplizierer und Tiefpaßfilter verwendet werden.

Die in Figur 4 gezeigte Anordnung ist für die Schichtdickenmessung mit Oberwellenanalyse geeignet. Der Sweepgenerator 1 wird vorzugsweise durch Hintereinanderschaltung eines amplitudengesteuerten Sägezahngenerators 14, einer regelbaren Spannungsquelle 15 und spannungsgesteuertem Oszillator 16 realisiert. Die Bandbreite wird durch Vorgabe der Sägezahnamplitude 14 mit einer Referenzspannung in 15 eingestellt. Die Wiederholrate der Frequenzmodulation wird am Sägezahngenerator 14, die Mittenfrequenz am Oszillator 16 und der Prüfsignalpegel am Verstärker 8 eingestellt. Der Prüfkopf 2, der Amplitudendemodulator 9 und der Audiomonitor 7 entsprechen den oben beschriebenen Ausführungsformen. Mit einem Mitlauffilter 17 und einer Einheit zur Messung des Oberwellenverhältnisses 18 werden die Amplituden der Grundschiwingung und der Harmonischen ermittelt. Die Bandbreite und das Oberwellenverhältnis werden auf der Anzeigeeinheit 13 dargestellt. In dieser Ausführungsform wird die manuelle Einstellung der Bandbreite ersetzt durch eine Regeleinheit, bei der in einer Subtrahierstufe 19 das Oberwellenverhältnis mit einem Sollwert verglichen und die Differenz über einen Integrator 20 zur Bandbreiteneinstellung zurückgeführt wird. Der Regelkreis stellt selbsttätig das vorgegebene Oberwellenverhältnis ein.

- 11 -

Das in Figur 4 gezeigte Gerät ist besonders für den Einsatz in der Suchtechnik geeignet, weil Abweichungen im Oberflächenverhältnis von einem zuvor an einer Referenzschicht eingestellten Wert mit dem Gehör und der elektronischen Analyseeinrichtung leicht zu entdecken sind.



Patentansprüche

1. Verfahren zur Dickenkontrolle bzw. -messung von einseitig
oder nicht von außen zugänglichen Materialschichten, bei
dem ein anhaltendes frequenzmoduliertes Ultraschall-
signal eingeschallt wird, das periodisch ein Frequenz-
band überstreicht und das durch Interferenz resultieren-
de Signal bezüglich der Amplitude ausgewertet wird,
dadurch gekennzeichnet, daß das Frequenzband breit ge-
wählt wird, so daß ein Mehrfaches des Interferenzab-
standes umfaßt wird, und daß das durch multiplikatives
Mischen mit dem eingeschallten Signal entstehende Signal
einer Frequenzanalyse unterworfen wird, wobei eine be-
stimmte Modulationsrate in Abhängigkeit von dem gewünsch-
ten Meßbereich festgelegt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß
eine der Schichtdicke proportionale Tonfrequenz als An-
zeige benutzt wird und zur Erzielung einer hörbaren Ton-
frequenz eine bestimmte Modulationsrate in Abhängigkeit
von der Tonfrequenzänderung pro Schichtdickeneinheit
festgelegt wird.
3. Verfahren zur Dickenkontrolle bzw. -messung von ein-
seitig oder nicht von außen zugänglichen Materialschich-
ten, bei dem ein anhaltendes frequenzmoduliertes Ultra-

schallsignal eingeschallt wird, das periodisch ein Frequenzband überstreicht und das durch Interferenz resultierende Signal bezüglich der Amplitude ausgewertet wird, dadurch gekennzeichnet, daß ein der Schichtdicke entsprechendes Oberwellenverhältnis ausgewertet wird, wobei die Oberwellen dadurch entstehen, daß das Frequenzband schmal gewählt wird, so daß nur ein Teilbereich des Interferenzabstandes bzw. der Interferenzmuster umfaßt wird, und daß die Wiederholfrequenz der Modulation in Abhängigkeit von dem gewünschten Meßbereich festgelegt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Oberwellenverhältnis als Klang ausgewertet und als Anzeige benutzt wird und daß die Wiederholfrequenz der Modulation und mehrere ihrer Harmonischen in den Hörbereich gelegt werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erzeugung einer Arbeitstiefe das eingeschallte Signal zeitlich verzögert und dem resultierenden Signal multiplikativ gemischt wird.

6. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein aus einem Sende- und Empfangswandler bestehender Prüfkopf (2) mit einem Sweepgenerator (1) mit einstellbarer Bandbreite und Modulationsrate verbunden ist, wobei das am Empfangswandler entstehende Signal in einer Demodulationseinheit (3) gleichgerichtet und nach Tiefpaßfilterung (6) auf einen Frequenzanalysator oder Audiomonitor (7) geleitet wird.

- 14 -

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet,
daß zur Eichung ein Frequenzspannungswandler (10)
vorhanden ist, dessen Ausgangsspannung in einer
Multipliziereinheit (12) mit einer einstellbaren
Größe (11) multiplizierbar ist.
8. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach An-
spruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß ein aus
einem Sende- und Empfangswandler bestehender Prüf-
kopf (2) mit einem Sweepgenerator (1) mit einstell-
barer Bandbreite und Modulationsrate verbunden ist
und eine Frequenzanalyseeinheit (17), z.B. ein Mit-
lauffilter oder Fourieranalysator, vorhanden ist,
mit der die Amplituden der Grundwelle und der Harmo-
nischen in dem in einer Demodulationseinheit (9)
demodulierten Signal ermittelt werden, wobei das
Oberwellenverhältnis (18) und die Bandbreite (15)
des Ultraschallsweeps für die Dickenanzeige (13) ver-
wendet werden und gegebenenfalls ein Audiomonitor (7)
vorgesehen ist.
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet,
daß zur Einstellung eines bestimmten Oberwellen-
verhältnisses durch Zusatz einer Sollwertvergleichs-
stufe (19) und einer Rückführungsstufe (20) ein Re-
gelkreis gebildet ist, wobei aus der zugehörigen
Steuerspannung (15) für die Bandbreite die Dicken-
anzeige (13) ableitbar ist.
10. Vorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekenn-
net, daß zur Eichung eine Dividiereinheit vorgesehen
ist, bei der eine einstellbare Konstante durch eine
der Bandbreite proportionale Größe dividiert wird.

- 15 -

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 10,
dadurch gekennzeichnet, daß eine Verzögerungseinheit (4)
und ein multiplikativer Mischer (5) für das
eingeschallte Signal vorgesehen sind.
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 11,
dadurch gekennzeichnet, daß im Prüfkopf der Sende- und
der Empfangswandler parallel oder konzentrisch
angeordnet sind.

1/4

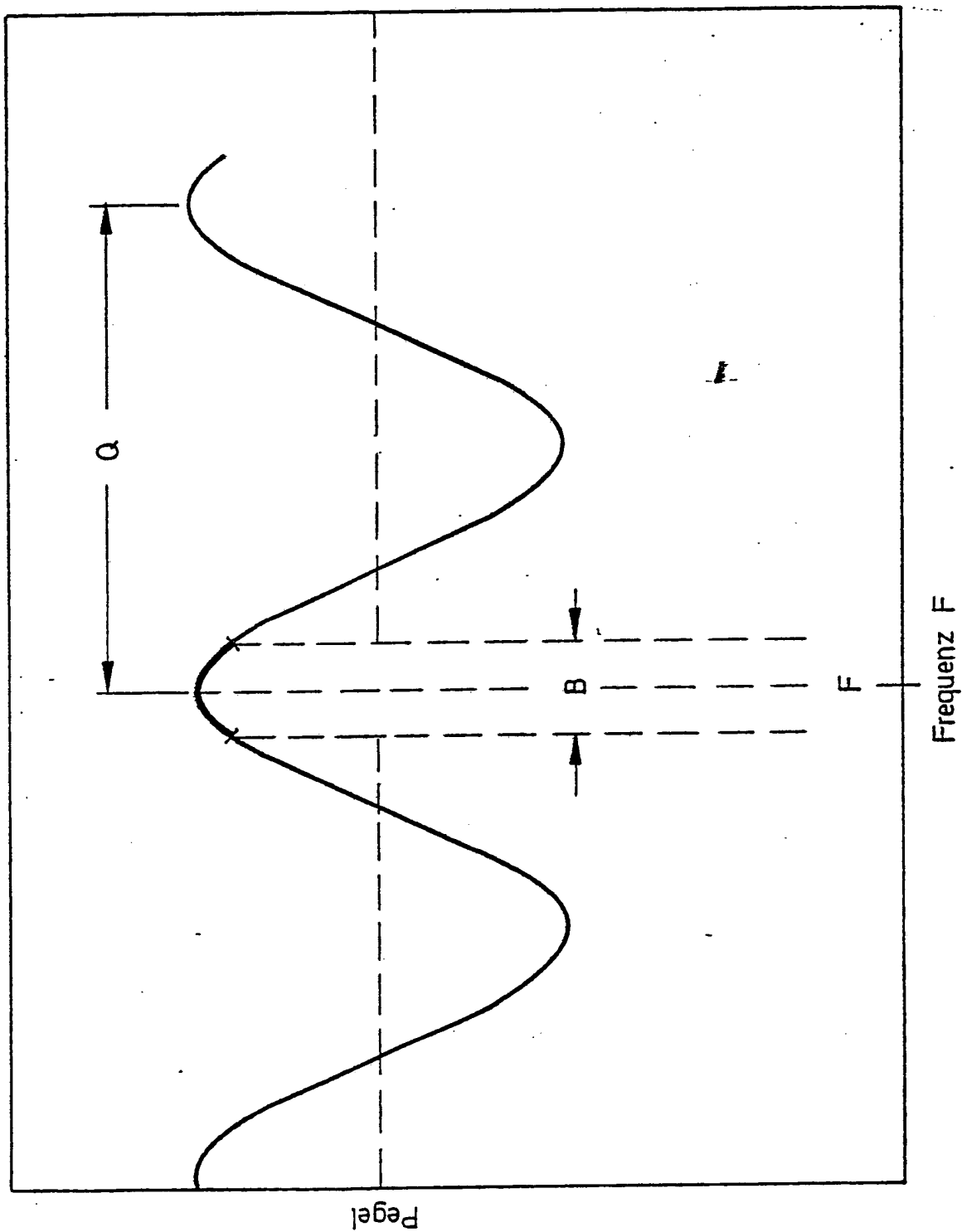


Fig.: 1

2/4

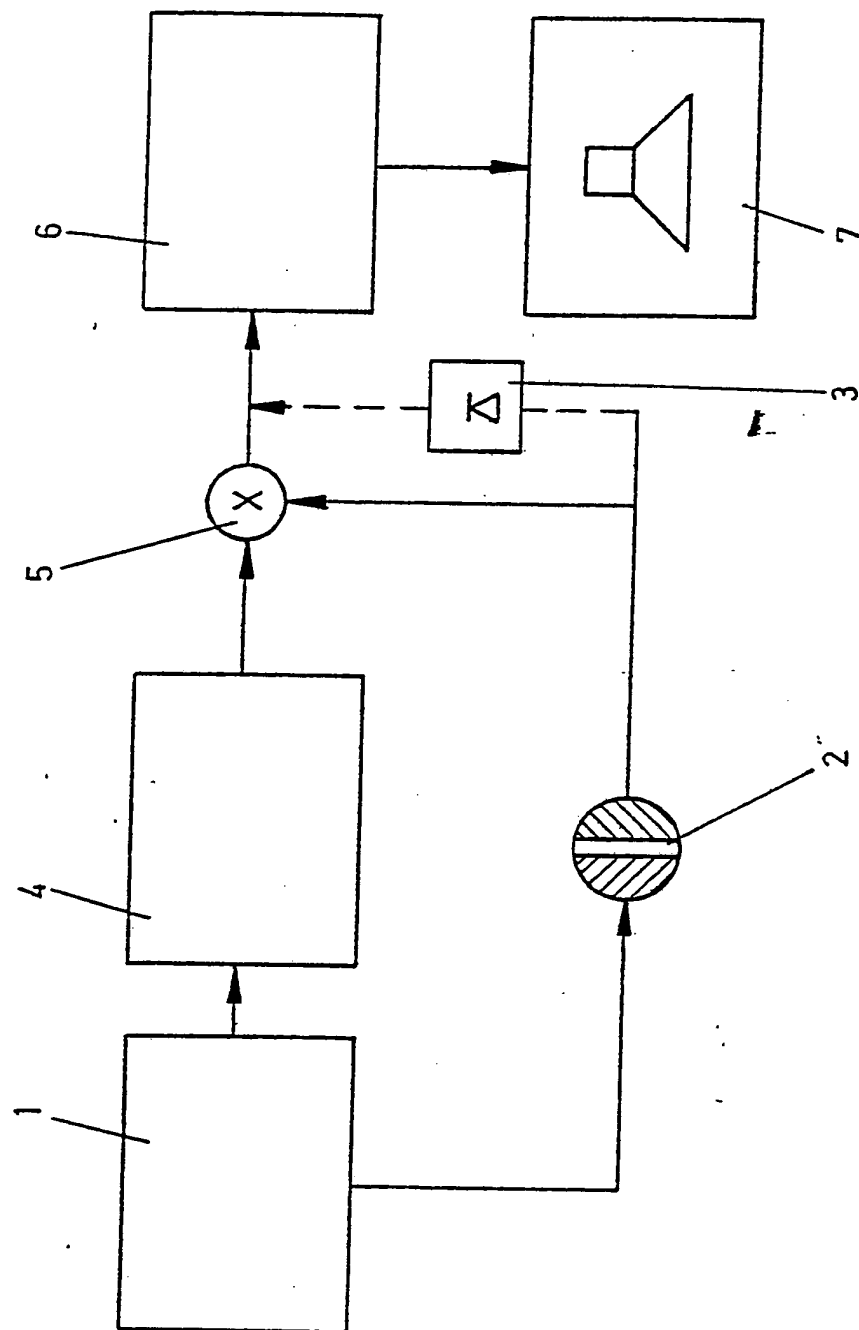


Fig.: 2

3/4

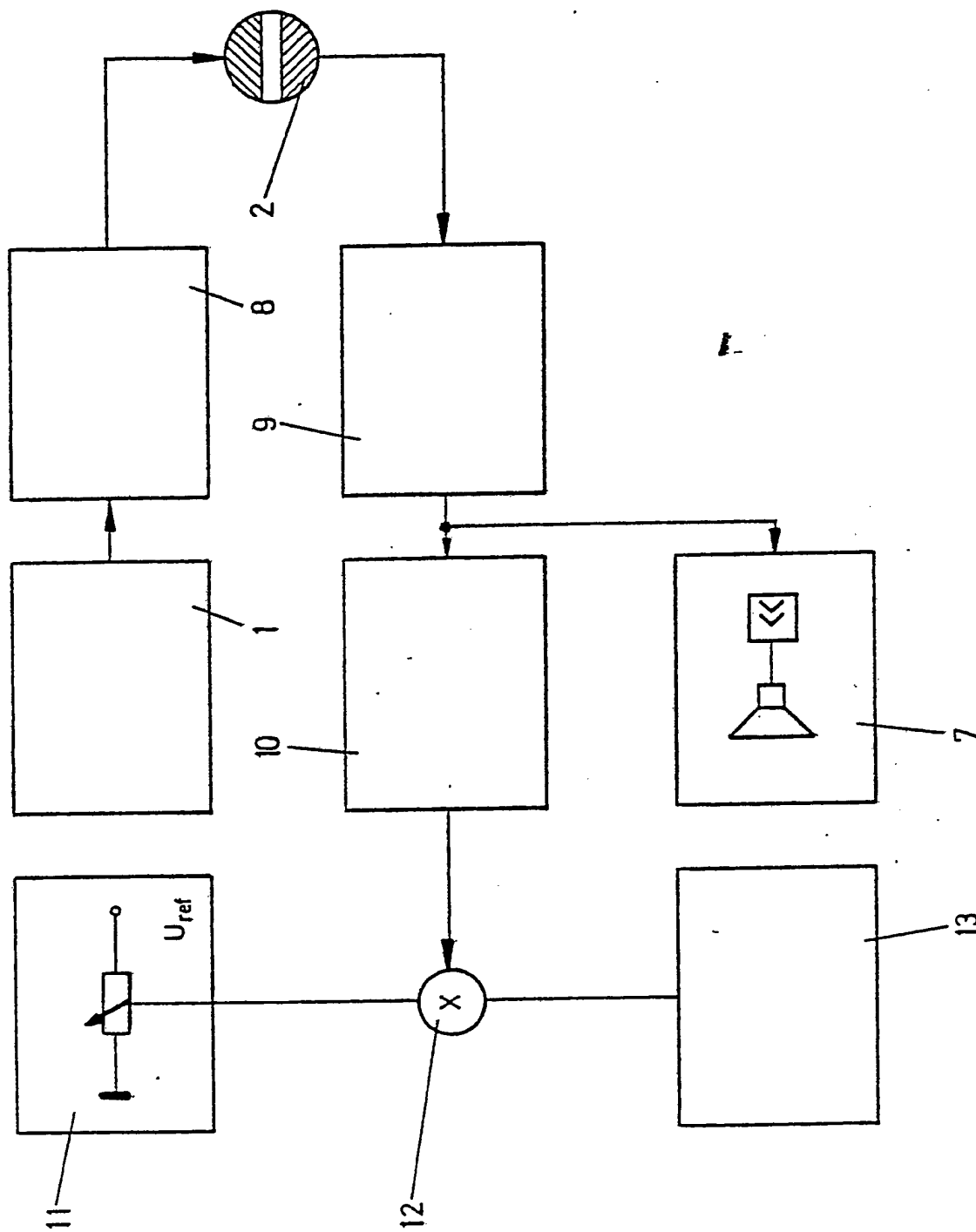


Fig.: 3

4/4

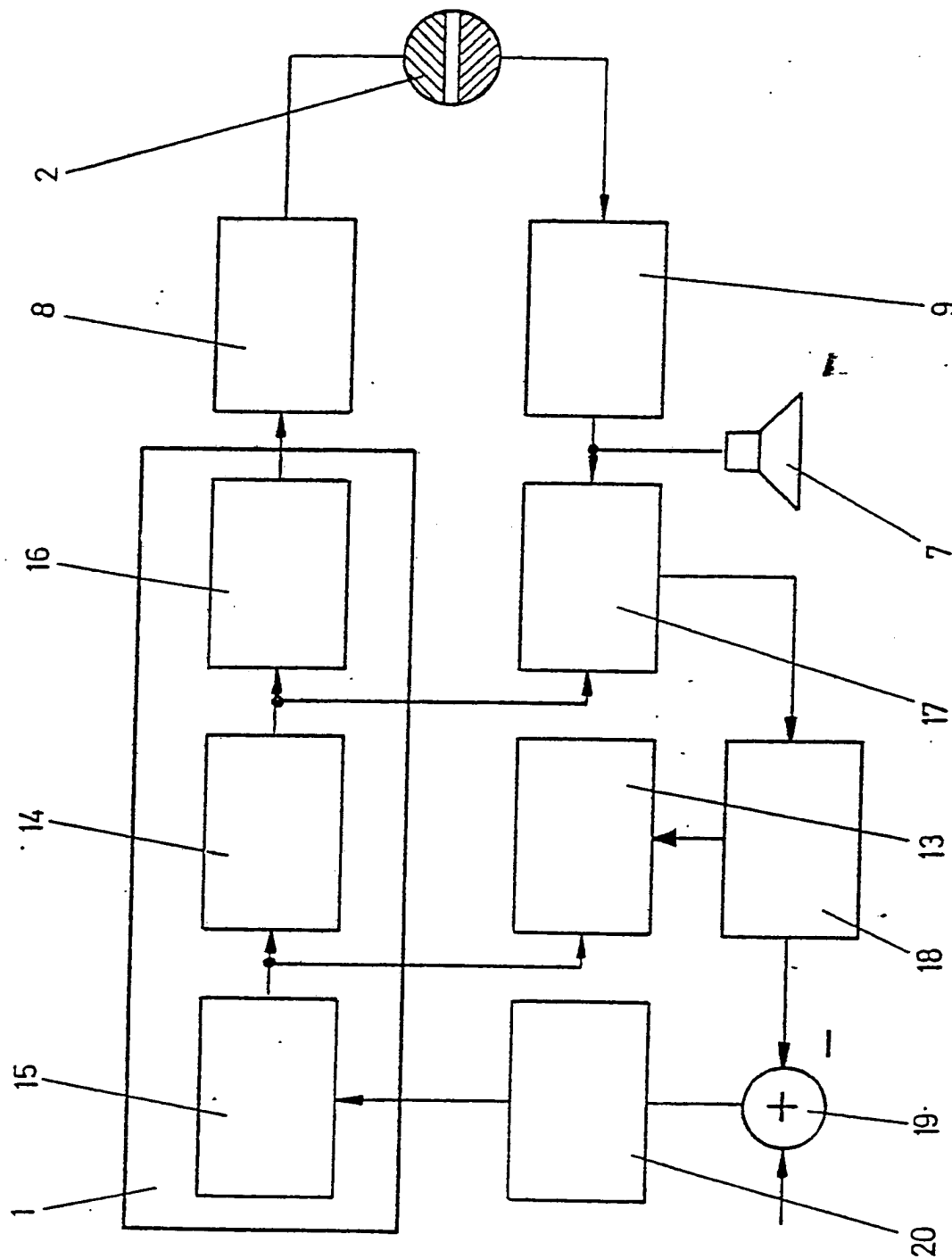


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No PCT/EP 82/00069

I. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER (If several classification symbols apply, indicate all) ³ According to International Patent Classification (IPC) or to both National Classification and IPC <div style="text-align: center; padding: 5px;">Int. Cl.³ : G 01 B 17/02 ; G 01 S 15/34</div>																	
II. FIELDS SEARCHED <div style="text-align: center; padding: 5px;">Minimum Documentation Searched ⁴</div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 25%; padding: 5px;">Classification System</th> <th style="padding: 5px;">Classification Symbols</th> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Int. Cl.³</td> <td style="padding: 5px;">G 01 B 17/00; G 01 S 15/34</td> </tr> </table> <div style="text-align: center; padding: 5px;">Documentation Searched other than Minimum Documentation to the Extent that such Documents are Included in the Fields Searched ⁶</div>			Classification System	Classification Symbols	Int. Cl. ³	G 01 B 17/00; G 01 S 15/34											
Classification System	Classification Symbols																
Int. Cl. ³	G 01 B 17/00; G 01 S 15/34																
III. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT ¹⁴ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 10%; padding: 5px;">Category *</th> <th style="width: 70%; padding: 5px;">Citation of Document, ¹⁵ with indication, where appropriate, of the relevant passages ¹⁷</th> <th style="width: 20%; padding: 5px;">Relevant to Claim No. ¹⁸</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: top; padding: 5px;">A</td> <td style="padding: 5px;">DE, C, 1190845, (NATIONAL RESEARCH DEVELOPMENT CORPORATION) 21 September 1967, see claims 1,3,4</td> <td style="text-align: center; vertical-align: top; padding: 5px;">6,8</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: top; padding: 5px;">A</td> <td style="padding: 5px;">US, A, 3140461 (C.M. McKINLEY) 07 July 1964, see claims 1 to 4</td> <td style="text-align: center; vertical-align: top; padding: 5px;">1,3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: top; padding: 5px;">A</td> <td style="padding: 5px;">US, A, 3148536 (R.V. HARRIS) 15 September 1964, see claims 1 to 6</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: top; padding: 5px;">A</td> <td style="padding: 5px;">Elektroniker, volume 25, No 5, 1976 (München, DE) O. Müller "Der Hochfrequenz-Spektrumanalysator als Messgerät in der Ultraschallresonanztechnik", see pages EL20 to EL24</td> <td></td> </tr> </table>			Category *	Citation of Document, ¹⁵ with indication, where appropriate, of the relevant passages ¹⁷	Relevant to Claim No. ¹⁸	A	DE, C, 1190845, (NATIONAL RESEARCH DEVELOPMENT CORPORATION) 21 September 1967, see claims 1,3,4	6,8	A	US, A, 3140461 (C.M. McKINLEY) 07 July 1964, see claims 1 to 4	1,3	A	US, A, 3148536 (R.V. HARRIS) 15 September 1964, see claims 1 to 6		A	Elektroniker, volume 25, No 5, 1976 (München, DE) O. Müller "Der Hochfrequenz-Spektrumanalysator als Messgerät in der Ultraschallresonanztechnik", see pages EL20 to EL24	
Category *	Citation of Document, ¹⁵ with indication, where appropriate, of the relevant passages ¹⁷	Relevant to Claim No. ¹⁸															
A	DE, C, 1190845, (NATIONAL RESEARCH DEVELOPMENT CORPORATION) 21 September 1967, see claims 1,3,4	6,8															
A	US, A, 3140461 (C.M. McKINLEY) 07 July 1964, see claims 1 to 4	1,3															
A	US, A, 3148536 (R.V. HARRIS) 15 September 1964, see claims 1 to 6																
A	Elektroniker, volume 25, No 5, 1976 (München, DE) O. Müller "Der Hochfrequenz-Spektrumanalysator als Messgerät in der Ultraschallresonanztechnik", see pages EL20 to EL24																
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>* Special categories of cited documents: ¹⁶</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.</p> <p>"&" document member of the same patent family</p> </div> </div>																	
IV. CERTIFICATION <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 5px;"> Date of the Actual Completion of the International Search ³ <div style="text-align: center; padding: 5px;">05 August 1982 (05.08.82)</div> </td> <td style="width: 50%; padding: 5px;"> Date of Mailing of this International Search Report ³ <div style="text-align: center; padding: 5px;">17 August 1982 (17.08.82)</div> </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"> International Searching Authority ¹ <div style="text-align: center; padding: 5px;">European Patent Office</div> </td> <td style="padding: 5px;"> Signature of Authorized Officer ¹⁰ </td> </tr> </table>			Date of the Actual Completion of the International Search ³ <div style="text-align: center; padding: 5px;">05 August 1982 (05.08.82)</div>	Date of Mailing of this International Search Report ³ <div style="text-align: center; padding: 5px;">17 August 1982 (17.08.82)</div>	International Searching Authority ¹ <div style="text-align: center; padding: 5px;">European Patent Office</div>	Signature of Authorized Officer ¹⁰											
Date of the Actual Completion of the International Search ³ <div style="text-align: center; padding: 5px;">05 August 1982 (05.08.82)</div>	Date of Mailing of this International Search Report ³ <div style="text-align: center; padding: 5px;">17 August 1982 (17.08.82)</div>																
International Searching Authority ¹ <div style="text-align: center; padding: 5px;">European Patent Office</div>	Signature of Authorized Officer ¹⁰																